

EP/05/1193



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

REC'D 07 FEB 2007

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

04002979.5

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:  
Application no.: 04002979.5  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 11.02.04  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

GRUNDFOS A/S  
Poul Due Jensens Vej 7-11  
DK-8850 Bjerringbro  
DANEMARK

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Pumpenfehler

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

F04D/

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL  
PT RO SE SI SK TR LI

11. Feb. 2004

Anmelder: Grundfos a/s  
Titel: Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregates  
Unser Zeichen: GP 1124 EP

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregates, insbesondere eines Kreiselpumpenaggregats gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen sowie eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung  
5 dieses Verfahrens gemäß Anspruch 18.

Es zählt auch bei Pumpenaggregaten inzwischen zum Stand der Technik, eine Vielzahl von Sensorik vorzusehen, einerseits um Betriebszustände zu erfassen, andererseits auch um Fehlzustände der Anlage  
10 und/oder des Pumpenaggregats zu ermitteln. Nachteilig hierbei ist jedoch, dass die in diesem Zusammenhang erforderliche Sensorik nicht nur aufwändig und teuer, sondern häufig auch störanfällig ist.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein  
15 Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats zu schaffen, welches mit möglichst geringer Sensorik ausführbar ist sowie eine Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die in Anspruch 1 und 2  
20 angegebenen Merkmale gelöst. Eine entsprechende Vorrichtung ist durch die Merkmale des Anspruchs 18 definiert. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und den Figuren.

25

Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, anhand in der Regel ohnehin zur Verfügung stehender oder zumindest wenig aufwändig ermittelbarer elektrischer Größen des Motors sowie mindestens einer in der Regel sensorisch zu ermittelnden veränderlichen hydraulischen Größe der Pumpe für den elektrischen Motor sowie die hydraulisch-mechanische Pumpe charakteristische Daten zu erfassen und diese ggfs. nach mathematischer Verknüpfung auszuwerten. In einfachster Form erfolgt dies durch Vergleich mit vorgegebenen Werten, wobei sowohl der Vergleich als auch das Ergebnis selbsttätig mittels elektronischer Datenverarbeitung erfolgt, die somit feststellt, ob ein Fehler im Betrieb der Pumpe vorliegt oder nicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats sieht somit vor, mindestens zwei die elektrische Leistung des Motors bestimmende Größen und mindestens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe zu erfassen, diese erfassen oder davon abgeleiteten Werte mit vorgegebenen Werten zu vergleichen und zu ermitteln ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Dies alles erfolgt selbsttätig durch elektronische Datenverarbeitung. Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt ein Minimum an Sensorik und kann bei modernem, typischerweise frequenzumrichter gesteuerten Pumpen, die ohnehin eine digitale Datenverarbeitung aufweisen, in der Regel softwaremäßig implementiert werden. Dabei ist besonders vorteilhaft, dass die die elektrische Leistung des Motors bestimmenden Größen, nämlich typischerweise die am Motor anliegende Spannung und der den Motor speisende Strom, ohnehin innerhalb der Frequenzumrichterelektronik zur Verfügung stehen, so dass zur Erfassung einer hydraulischen Größe, z.B. des Drucks lediglich ein Drucksensor erforderlich ist, der im Übrigen bei modernen Pumpen ebenfalls schon häufig zur Standardausstattung zählt. Die zum Vergleich erforderlichen vorgegebenen Werte können in digitaler Form in entsprechenden Speicherbausteinen der Motorelektronik abgelegt werden.

Alternativ zum Vergleich mit tabellarisch abgelegten charakteristischen Werten von Motor und Pumpe ist gemäß Anspruch 2 vorgesehen, dass einerseits die zwei die elektrische Leistung des Motors bestimmenden elektrischen Größen des Motors, vorzugsweise die am Motor anliegende Spannung und der dem Motor speisende Strom, zur Erzielung mindestens eines Vergleichswertes mathematisch verknüpft werden und andererseits die mindestens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe sowie eine weitere die Leistung der Pumpe bestimmende mechanische oder hydraulische Größe zur Erzielung mindestens eines weiteren Vergleichswerts mathematisch verknüpft werden, wobei dann anhand des Ergebnisses der mathematischen Verknüpfung durch Vergleich mit vorgegebenen Werten ermittelt wird, ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Die mathematische Verknüpfung erfolgt dabei für die motorseitigen Daten durch entsprechende für die elektrischen und/oder magnetischen Zusammenhänge im Motor bestimmende Gleichungen wohingegen für die Pumpe Gleichungen verwendet werden, welche das hydraulische und/oder mechanische System beschreiben. Die sich bei den jeweiligen Verknüpfungen ergebenden Werte werden entweder direkt oder mit vorgegebenen, in der Speicherelektronik abgespeicherten Werten verglichen, wonach die elektronische Datenverarbeitung selbsttätig feststellt ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Bei dem direkten Vergleich wird die Fehlergröße als eine Abweichung zwischen einer sich aus dem Motormodell ergebenden Größe, z. B.  $T_e$  oder  $\omega$  und einer entsprechenden aus dem mechanisch-hydraulischen Modell sich ergebenden Größe ermittelt. Das Verfahren gemäß Anspruch 2 hat gegenüber dem nach Anspruch 1 den Vorteil, dass weniger Speicherplatz für die vorgegebenen Werte erforderlich ist, jedoch benötigt dieses Verfahren mehr Rechenkapazität der Datenverarbeitungsanlage.

30

Dabei kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht nur festgestellt werden ob ein Fehler vorliegt, sondern es kann darüber hinaus vor-

teilhaft auch noch der Fehler spezifiziert werden, d.h. ermittelt werden, um welchen Fehler es sich handelt.

5 Als zu erfassende hydraulische Größe wird vorteilhaft der von der Pumpe erzeugte Druck bzw. Differenzdruck herangezogen, da diese Größe aggregatseitig erfasst werden kann und das Vorsehen eines solchen Druckaufnehmers bei zahlreichen Pumpenbauarten heute zum Stand der Technik zählt.

10 Alternativ oder zusätzlich zur Erfassung des Druckes kann als hydraulische Größe vorteilhaft auch die von der Pumpe geförderte Menge herangezogen werden. Die Erfassung der Fördermenge kann ebenfalls aggregatseitig erfolgen, auch hierfür stehen wenig aufwändige und langzeitstabile Messsysteme zur Verfügung.

15 Da die Absolutdruckerfassung des von der Pumpe erzeugten Drucks stets eine Differenzdruckmessung gegenüber der Außenatmosphäre darstellt ist es häufig günstiger, den zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe gebildeten Differenzdruck statt des Absolutdruckes zu erfassen,  
20 der darüber hinaus als hydraulische Größe der Pumpe wesentlicher günstiger weiterzuverarbeiten ist.

Vorteilhaft wird für die mathematische Verknüpfung für die die elektrische Leistung des Motors bestimmenden Größen ein elektrisches Motormodell und für die mathematische Verknüpfung der mechanisch-  
25 hydraulischen Pumpengröße ein mechanisch-hydraulisches Pumpen-/Motormodell verwendet. Dabei wird als elektrisches Motormodell bevorzugt, ein durch die Gleichungen (1) bis (5) oder (6) bis (9) oder (10) bis (14) definiertes verwendet.

30

$$L'_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R'_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rd} + z_p \omega \psi_{rq}) + v_{sd} \quad (1)$$

$$L'_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R'_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rq} - z_p \omega \psi_{rd}) + v_{sq} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -R'_r \psi_{rd} - z_p \omega \psi_{rq} + R'_r L_m i_{sd} \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = -R'_r \psi_{rq} + z_p \omega \psi_{rd} + R'_r L_m i_{sq} \quad (4)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (5)$$

Die Gleichungen (1) bis (5) repräsentieren ein elektrisches dynamisches Motormodell für einen Asynchronmotor.

$$V_s = Z_s(s) I_s \quad (6)$$

$$\omega = \omega_s - s \omega_s \quad (7)$$

$$I_r = \frac{V_s}{Z_r(s)} \quad (8)$$

$$T_e = \frac{3 R_r I_r^2}{s} \quad (9)$$

- 5 Die Gleichungen (6) bis (9) repräsentieren ein elektrisches statisches Motormodell ebenfalls für einen Asynchronmotor.

$$L_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R_s i_{sd} + z_p \omega L_s \psi_{rq} + v_{sd} \quad (10)$$

$$L_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R_s i_{sq} - z_p \omega L_s \psi_{rd} + v_{sq} \quad (11)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -z_p \omega \psi_{rq} \quad (12)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = z_p \omega \psi_{rd} \quad (13)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (14)$$

- 10 Die Gleichungen (10) bis (14) stellen ein elektrisches dynamisches Motormodell dar, und zwar für einen Permanentmagnetmotor.

In den Gleichungen (1) bis (14) repräsentieren

$i_{sd}$  den Motorstrom in Richtung d

$i_{sq}$  den Motorstrom in Richtung q

$\psi_{rd}$	den magnetischen Fluss des Rotors in d-Richtung
$\psi_{rq}$	den magnetischen Fluss des Rotors in q-Richtung
$T_e$	das Motormoment
$v_{sd}$	die Versorgungsspannung des Motors in d-Richtung
$v_{sq}$	die Versorgungsspannung des Motors in q-Richtung
$\omega$	die Winkelgeschwindigkeit des Rotors und Laufrades
$R'_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$R'_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$L_m$	den induktiven Kopplungswiderstand zwischen Stator- und Rotorwicklung
$L'_s$	den induktiven Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_r$	den induktiven Widerstand der Rotorwicklung
$z_p$	die Polpaarzahl
$I_s$	den Phasenstrom
$V_s$	die Phasenspannung
$\omega_s$	die Frequenz der Versorgungsspannung
$\omega$	die tatsächliche Rotor- und Laufraddrehzahl
$s$	den Motorschlupf
$Z_s(s)$	die Statorimpedanz
$Z_r(s)$	die Rotorimpedanz
$R_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$R_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_s$	Den induktiven Widerstand der Statorwicklung,

wobei d und q zwei senkrecht zueinander stehende Richtungen senkrecht zur Motorwelle sind,

Für das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell wird die Gleichung (15) und mindestens eine der Gleichungen (16) und (17) vorteilhaft verwendet.

5

Dabei repräsentiert die Gleichung (15) die mechanischen Zusammenhänge zwischen Motor und Pumpe wohingegen die Gleichungen (16) und (17) die mechanisch-hydraulischen Zusammenhänge in der Pumpe beschreiben. Diese Gleichungen lauten:

10

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - B\omega - T_p \quad (15)$$

und mindestens eine der Gleichungen

$$H_p = -a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 \quad (16)$$

$$T_p = -a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2 \quad (17)$$

in denen

5

- $\frac{d\omega}{dt}$  die zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeit des Rotors,
- $T_p$  das Pumpendrehmoment,
- $J$  das Massenträgheitsmoment von Rotor, Laufrad und im Laufrad gebundener Förderflüssigkeit ,
- $B$  die Reibungskonstante,
- $Q$  der Förderstrom der Pumpe,
- $H_p$  der von der Pumpe erzeugten Differenzdruck,
- $a_{h2}, a_{h1}, a_{h0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Differenzdruck beschreiben und
- $a_{t2}, a_{t1}, a_{t0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Massenträgheitsmoment beschreiben

- Anspruch 9 definiert beispielhaft, in welcher Weise mathematische Verknüpfungen vorgenommen werden um zu ermitteln, ob ein Fehler vorliegt oder nicht. Auf das Abspeichern vorgegebener Werte kann hier im
- 10 Prinzip völlig verzichtet werden. Grundgedanke dieses konkreten Verfahrens besteht darin, einerseits unter Zuhilfenahme des Motormodells, das sich aufgrund der elektrischen Größen an der Motorwelle ergebende Motormoment sowie die Drehzahl zu ermitteln, wobei letztere auch gemessen werden kann. Mit Hilfe der Gleichungen (16) und/oder
- 15 (17) wird eine Beziehung zwischen Druck und Fördermenge einerseits bzw. zwischen Leistung/Moment und Fördermenge andererseits ermittelt. Es wird dann vorteilhaft mit Gleichung (15) überprüft, ob die mit Hilfe des Motormodells berechneten Größen mit denen mit Hilfe des Pumpenmodells nach Einsetzen der gemessenen hydraulischen Größe

berechneten Größen übereinstimmen oder nicht, wobei bei mangelnder Übereinstimmung ein Fehler registriert wird. Es wird also quasi verglichen, ob die sich aus den elektrischen Motormodell ergebenden Antriebsgrößen mit denen aus dem hydraulisch-mechanischen Pumpenmodell sich ergebenden Antriebsgrößen übereinstimmen oder nicht.  
 5 Wenn dies der Fall ist, arbeitet das Pumpenaggregat fehlerfrei, andernfalls liegt ein Fehler vor, der ggfs. noch weiter spezifiziert werden kann.

10 Um dem System eine gewisse Toleranz zu geben, kann es sinnvoll sein, durch Varianz mindestens einer der Größen  $a_{h0}$  bis  $a_{h2}$ ,  $a_{t0}$  bis  $a_{t2}$ ,  $B$  und  $J$  ein Toleranzband festzulegen, um nur dann einen Fehler zu registrieren, wenn dieser auch betriebsrelevant ist.

15 Um die Art des Fehlers näher spezifizieren zu können ist es zweckmäßig zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen vorzugsweise durch Messen zu ermitteln und die ermittelten Werte in die Gleichungen nach Anspruch 8 einzusetzen, so dass sich dann vier Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  ergeben. Anhand der Kombination dieser Fehlergrößen wird dann die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen bestimmt. Auch dies erfolgt selbsttätig durch die elektronische Datenverarbeitung.  
 20

In alternativer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens können zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei dann jeweils die vorgegebenen Werte eine Fläche im dreidimensionalen Raum definieren und ermittelt wird, ob die  
 25 ermittelten Größen auf diesen Flächen ( $r^*_1$  bis  $r^*_4$ ) liegen oder nicht und anhand der Kombination der Werte die Art des Fehlers anhand vorge-  
 30

gebener Grenzwertkombinationen ermittelt werden. Die Fehlerart kann dann beispielsweise anhand der folgenden Tabelle bestimmt werden:

Fehlerart	Fehlergröße	$r_1$ ,	$r_2$ ,	$r_3$ ,	$r_4$ ,
	Vergleichsfläche	$r_1^*$	$r_2^*$	$r_3^*$	$r_4^*$
Erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte		1	0	1	1
Reduzierte Förderung/ fehlender Druck		0	1	1	1
Defekt im Ansaugbereich/ fehlende Fördermenge		1	1	0	1
Förderausfall		1	1	1	1

- 5 Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es somit möglich, mit einem Minimum an Sensorik nicht nur den fehlerfreien Betriebszustand des Pumpenaggregats festzustellen oder nicht festzustellen, sondern darüber hinaus im Falle eines Fehlers diesen auch noch im Einzelnen zu spezifizieren, so dass im Pumpenaggregat ein entsprechendes Fehler-  
 10 signal generiert werden kann, das die Art des Fehlers anzeigt. Dieses Signal kann gegebenenfalls zu entfernten Stellen übermittelt werden, wo die Funktion des Pumpenaggregats überwacht werden soll.

- Die anhand vorgegebener Werte gebildeten Flächen im dreidimensio-  
 15 nalen Raum sind typischerweise raumgekrümmte Flächen, deren Werte zuvor fabrikmäßig anhand des jeweiligen Aggregats oder des Aggregattyps ermittelt und im digitalen Datenspeicher aggregatseitig abgelegt sind. Dabei sind die vorerwähnten Vergleichsflächen  $r_1^*$  bis  $r_4^*$  in einem dreidimensionalen Raum angeordnet, der bei  $r_1^*$  aus dem Dreh-  
 20 moment, dem Durchfluss und der Rotorgeschwindigkeit, bei  $r_2^*$  aus der Förderhöhe, der Fördermenge und der Rotorgeschwindigkeit, für  $r_3^*$  aus dem Drehmoment, der Förderhöhe und der Rotorgeschwindigkeit so-

wie für  $r^*_4$  aus dem Drehmoment, der Förderhöhe und der Fördermenge gebildet sind.

Die in der Tabelle durch die Vergleichsflächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  definierten Größen kennzeichnen den jeweiligen Betriebszustand, wobei die Ziffer 0 bedeutet, dass der jeweilige Wert innerhalb der durch die vorgegebenen Werte definierten Fläche liegt und 1 außerhalb. So kann die in der Tabelle durch erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte definierte Fehlerkombination beispielsweise einen Lagerschaden oder einen sonstwie verursachten erhöhten Reibwiderstand zwischen den rotierenden Teilen und den feststehenden Teilen des Aggregats bedeuten. Die unter dem Oberbegriff reduzierte Förderung/fehlender Druck gekennzeichnete Fehlerkombination kann beispielsweise durch Fehler oder Verschleiß am Pumpenlaufrad oder ein Hindernis im Pumpen Ein- oder Auslass verursacht sein. Die unter dem Oberbegriff Defekt im Ansaugbereich/fehlende Fördermenge definierte Fehlerkombination kann beispielsweise durch Defekt der Ringdichtung am Saugmund der Pumpe verursacht sein. Die unter dem Oberbegriff Förderausfall fallende Fehlerkombination kann vielfältigste Ursachen haben und ist ggfs. weiter zu spezifizieren. Dieser Förderausfall kann durch eine blockierte Welle oder ein blockiertes Pumpenlaufrad, durch einen Wellenbruch, durch das Lösen des Pumpenlaufrads, durch Kavitation aufgrund unzulässig niedrigen Drucks am Pumpeneinlass sowie durch Trockenlauf verursacht sein.

25

Die in der Tabelle durch die Größen  $r_1$  bis  $r_4$  gekennzeichneten Betriebszustände basieren auf mathematischen Berechnungen von Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  entsprechend den Gleichungen (19) bis (22), wobei die entsprechende Fehlergröße den Wert Null annimmt, wenn ein einwandfreier Betrieb vorliegt und den Wert 1 im Falle eines Fehlers. Die Tabelle ist hinsichtlich der Fehlerart in entsprechender Weise wie oben beschrieben zu verstehen. Bildlich gesehen, repräsentiert jede der Fehler-

30

größen  $r_1$  bis  $r_4$  einen Abstand zu den entsprechenden Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$ . Jedoch müssen die Fehlergrößen nicht notwendigerweise mit den Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  korrespondieren. Die Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  entsprechen den Gleichungen (19) bis (22) und korrespondieren zu den Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  in den Figuren 7 bis 10.

Um die Art des Fehlers weiter zu differenzieren ist in einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass bei Ermittlung eines Fehlers das Pumpenaggregat mit geänderter Drehzahl angesteuert wird, um dann anhand der sich einstellenden Messergebnisse den ermittelten Fehler näher eingrenzen zu können.

Bevorzugt umfasst das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell nicht nur das Pumpenaggregat selbst, sondern auch darüber hinaus zumindest Teile des von der Pumpe beaufschlagten hydraulischen Systems, damit auch Fehler dieses hydraulischen Systems ermittelbar sind.

Dabei wird das hydraulische System vorteilhaft durch die Gleichung (18) definiert, welche die Änderung des Förderstromes über die Zeit darstellt.

$$K_J \frac{dQ}{dt} = H_p - (p_{out} + \rho g z_{out} - p_{in} - \rho g z_{in}) - (K_v + K_L) Q^2 \quad (18)$$

in der

$K_J$	die Konstante ist, die Mässenträgkeit der Flüssigkeitssäule im Rohrsystem beschreibt,
$K_v$	die Konstante, die die flowabhängigen Druckverluste im Ventil beschreibt und
$K_L$	die Konstante ist, die die flowabhängigen Druckverluste im Rohrsystem beschreibt,
$H_p$	den Differenzdruck der Pumpe,
$p_{out}$	den Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
$p_{in}$	den Zulaufdruck,
$z_{out}$	das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
$z_{in}$	das statische Druckniveau am Pumpeneingang,
$\rho$	die Dichte des Fördermediums

g die Gravitationskonstante

Sind.

Die Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  werden vorteilhaft durch die Gleichungen (19)

5 bis (22) definiert:

$$\begin{cases} J \frac{d\hat{\omega}_1}{dt} = -B\hat{\omega}_1 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_e(\omega - \hat{\omega}_1) \\ r_1 = q_1(\omega - \hat{\omega}_1) \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} r_2 = q_2(-a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 - H_p) \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} Q' = \frac{a_{h1}\omega + \sqrt{a_{h1}^2\omega^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}\omega^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_3}{dt} = -B\hat{\omega}_3 - (-a_{t2}Q'^2 + a_{t1}Q'\omega + a_{t0}\omega^2) + T_e + k_3(\omega - \hat{\omega}_3) \\ r_3 = q_3(\omega - \hat{\omega}_3) \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \omega' = \frac{-a_{h1}H_p + \sqrt{a_{h1}^2H_p^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}Q^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_4}{dt} = -B\hat{\omega}_4 - (-a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega' + a_{t0}\omega'^2) + T_e + k_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \\ r_4 = q_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \end{cases} \quad (22)$$

in denen

---

$k_1, k_3, k_4$	Konstanten,
$q_1, q_2, q_3, q_4$	Konstanten,
$Q'$	Die berechnete Fördermenge auf Basis von aktueller Drehzahl und gemessenem Druck,
$\hat{\omega}_1$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der mechanisch-hydraulischen Gleichungen (15) und (17),
$\hat{\omega}_3$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\hat{\omega}_4$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\omega'$	die berechnete Rotordrehzahl aufgrund gemessenen Förderdrucks und gemessener Fördermenge
$r_1 - r_4$	Fehlergrößen und
$r_1^* - r_4^*$	durch drei Variable bestimmte Flächen sind, die einen fehlerfreien Betrieb der Pumpe repräsentieren.

Um das erfindungsgemäße Verfahren zur Fehlerermittlung bei Betriebszuständen eines Kreiselpumpenaggregats durchzuführen, sind dort Mittel zur Erfassung von zwei für den Motor leistungsbestimmenden elektrischen Größen sowie Mittel zur Erfassung mindestens einer veränderlichen hydraulischen Größe der Pumpe vorzusehen sowie eine elektronische Auswerteinrichtung, welche einen Fehlerzustand des Pumpenaggregats anhand der erfassten Größen ermittelt. In einfachster Form ist hier also eine Sensorik zur Erfassung von der am Motor anliegenden Versorgungsspannung und des Versorgungsstroms sowie zur Erfassung des von der Pumpe aufgetragenen Drucks vorzugsweise Differenzdrucks und der Fördermenge oder der Drehzahl vorzusehen. Darüber hinaus ist eine Auswerteinrichtung vorzusehen, die in Form einer digitalen Datenverarbeitung, z.B. eines Mikroprozessors ausgebildet sein kann, in den das erfindungsgemäße Verfahren softwaremäßig implementiert wird.

Um den Vergleich zwischen erfassten bzw. berechneten Werten und vorgegebenen (z.B. fabrikseitig erfasst und abgespeicherten) Werten durchführen zu können ist ferner ein elektronischer Speicher vorzusehen. Bei modernen frequenzumrichter gesteuerten Pumpenaggregaten sind sämtliche vorgenannten hardwaremäßigen Voraussetzungen bereits vorhanden, so dass lediglich für eine ausreichende Dimensionierung der elektronischen Datenverarbeitungsanlage, insbesondere der Speichermittel und der Auswerteinrichtung zu sorgen ist. Sämtliche Bauteile mit Ausnahme der zur Erfassung von hydraulischen Größen erforderlichen Sensorik sind bevorzugt integraler Bestandteil der Motor- und/oder Pumpenelektronik, so dass konstruktiv insoweit keine weiteren Vorkehrungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu treffen sind. Eine andere Ausführungsform kann ein separater in einer Schalttafel oder Steuertafel vorgesehener Baustein sein, in gleicher Weise wie ein Motorschutzschalter, jedoch mit den Überwachungs- und Diagnoseeigenschaften wie oben beschrieben.

Die hier beschriebenen Ausführungsformen beziehen sich auf Kreiselpumpen, wie sich dies auch aus dem mechanisch-hydraulischen Pumpenmodell ergibt. Solche Pumpen können beispielsweise Industriepumpen, Tauchpumpen für die Abwasser- oder Wasserversorgung sowie

5 Heizungsumwälzpumpen sein. Besonders vorteilhaft ist ein Diagnosesystem gemäß der Erfindung bei Spaltrohrpumpen, da durch frühzeitige Fehlererkennung das Durchschleifen des Spaltrohres und damit Austritt von Förderflüssigkeit, z. B. in den Wohnbereich, vorbeugend verhindert wird. Bei der Anwendung der Erfindung im Verdrängerpumpenbereich

10 muss das mechanisch-hydraulische Pumpenmodell entsprechend den abweichenden physikalischen Zusammenhängen angepasst werden. Entsprechendes gilt auch beim Einsatz anderer Motortypen für das elektrische Motormodell.

15 Darüber hinaus sind gemäß der Erfindung Mittel vorgesehen um mindestens eine Fehlermeldung zu erzeugen und zu übertragen an ein am Pumpenaggregat oder anderswo angeordnetes Anzeigelement, sei es in Form einer oder mehrerer Kontrollleuchten oder eines Displays mit alphanumerischer Anzeige. Dabei kann die Übertragung drahtlos, beispielsweise über Infrarot oder Funk erfolgen aber auch drahtgebunden,

20 vorzugsweise in digitaler Form.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist in einer vereinfachten Form anhand von Fig. 1 dargestellt. In ein elektrisches Motormodell 1 fließen die

25 veränderlichen elektrischen leistungsbestimmenden Größen ein, hier insbesondere die Spannung  $V_{abc}$  und der Strom  $i_{abc}$ . Das Produkt dieser Größen definiert die vom Motor aufgenommene elektrische Leistung. Aus diesem Motormodell, wie es beispielsweise durch die Gleichungen (1) bis (5) oder (6) bis (9) oder (10) bis (14) gegeben ist, sind das Drehmoment  $T_e$  an der Welle des Motors sowie die Drehzahl  $\omega$  des Motors

30 ableitbar, wie sie sich rechnerisch aufgrund des Motormodells ergeben. Diese leistungsabhängigen elektrischen Größen des Motors werden mit

- der ermittelten mechanischen Förderhöhe  $H$  (Druck) in einem Pumpenmodell 2, beispielsweise nach den Gleichungen (16) und (17) verknüpft, wobei dann das Ergebnis mit anhand definierter Betriebspunkte ermittelter vorgegebener Betriebswerte verglichen wird. Bei Übereinstimmung dieser Eingangsgrößen mit den vorgegebenen Werten arbeitet das Pumpenaggregat fehlerfrei. Ergibt sich hingegen über ein vorbestimmtes Maß hinausgehende Differenz, so wird ein Fehlersignal  $r$  generiert, welches eine Fehlfunktion der Pumpe signalisiert.
- Bei der Ausführung gemäß Fig. 2 werden in gleicher Weise wie bei Fig. 1 die Eingangsspannung  $v_{abc}$  und der Motorstrom  $i_{abc}$  als Eingangswerte für das Motormodell 1 verwendet, um das an der Motorwelle anstehende Moment  $T_e$  und die Drehgeschwindigkeit der Welle  $\omega$  zu ermitteln. Diese aus dem Motormodell 1 abgeleiteten Werte sowie die sensorisch ermittelten Größen der Förderhöhe  $H$  (Druck) sowie der Fördermenge  $Q$  werden in einem mechanisch-hydraulischen Pumpenmodell 3 mathematisch miteinander verknüpft, das z.B. durch die Gleichungen (19) bis (22) weitergebildet ist. Hierbei werden vier Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  generiert, wobei ein fehlerfreier Betrieb vorliegt, wenn diese alle den Wert Null annehmen und damit die Betriebspunkte in den in den Figuren 7 bis 10 im Einzelnen dargestellten Flächen  $r^*_1$  bis  $r^*_4$  liegen. Diese dort dargestellten Flächen sind aus einer Vielzahl von Betriebspunkten beim ordnungsgemäßen Betrieb des Pumpenaggregats definiert und fabrikmäßig erzeugt und im Speicherbaustein der Auswertelektronik digital abgespeichert. Alternativ oder zusätzlich wird festgestellt, ob die anhand des mechanisch-hydraulischen Pumpenmodells ermittelten Fehlergrößen  $r_1$  bis  $r_4$  Null sind oder nicht, entsprechend diesem Ergebnis erfolgt eine Auswertung gemäß der vorbeschriebenen Tabelle. Je nachdem, ob eine Fehlergröße vorliegt oder nicht, können beim Auftreten eines Fehlers insgesamt vier fehlerhafte Betriebszustände des Pumpenaggregats festgestellt werden, und zwar die unter die vorgenannten Oberbegriffe fallenden:

1. erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte,
2. reduzierte Förderung/fehlender Druck,
3. Defekt im Ansaugbereich/fehlende Fördermenge und
4. Förderausfall.

5

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann nicht nur das Pumpenaggregat selbst, sondern es können auch Teile der Anlage überwacht werden, in der das Pumpenaggregat angeordnet ist. Dabei gliedert sich das System so, wie in Fig. 3 im Einzelnen dargestellt ist. Auch hier ist ein elektrisches Motormodell vorgesehen, dessen Eingangsgrößen  $V_{abc}$  und  $i_{abc}$  sind und dem beispielsweise ein statisches Motormodell nach den Gleichungen (6) bis (9) zugrunde liegt, so, wie es hinlänglich bekannt und anhand von Fig. 5 dargestellt ist. Die Ausgangsgröße dieses statischen Motormodells ist das Motormoment  $T_e$ , das wiederum über die Gleichung (15) Eingang in den mechanischen Teil des Pumpenmodells 3a einfließt. Der hydraulische Teil des Pumpenmodells 3b ist durch die Gleichungen (16) und (17) definiert, über den der hydraulische Teil der Anlage 4 angekoppelt ist. Der hydraulische Teil der Anlage ist durch die Gleichung (18) definiert und anhand von Fig. 4 schematisch dargestellt, in dem  $P_{in}$  der Druck Zulauf der Pumpe,  $H_p$  der Differenzdruck der Pumpe,  $Q$  der Förderstrom,  $P_{out}$  der Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage und  $V_l$  die Strömungsverluste innerhalb der Pumpe darstellen.  $Z_{out}$  ist das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage und  $Z_{in}$  das am Pumpeneingang.

Fig. 3 verdeutlicht also die Zusammenhänge zwischen Motormodell, mechanischem Teil des Pumpenmodells, hydraulischen Teil des Pumpenmodells und hydraulischen Teil der Anlage. Während in den hydraulischen Teile des Pumpenmodells 3b und den hydraulischen Teil der Anlage Förderhöhe und Fördermenge ein- bzw. ausgehen, gehen in den hydraulischen Teil des Pumpenmodells 3b die Drehzahl  $\omega_r$  ein, die auch

in das Motormodel 1 eingeht. Das aus dem hydraulischen Teil des Pumpenmodells 3b ermittelte Moment geht wiederum in den mechanischen Teil des Pumpenmodells 3a zur Ermittlung der Drehzahl ein.

- 5 Die vorstehend beschriebenen Gleichungen zur mathematischen Beschreibung von Pumpe und Motor sind nur beispielhaft zu verstehen und können ggfs. durch andere geeignete Gleichungen, wie sie aus der einschlägigen Fachliteratur bekannt sind, ersetzt werden. Die vorstehend mit diesen Modellen ermittelbaren Fehler beim Betrieb eines
- 10 Pumpenaggregats bzw. Differenzierung nach Fehlerarten kann weiter diversifiziert werden durch geeignete Fehleralgorithmen.

- Um sicherzustellen, dass nicht schon geringe Fertigungstoleranzen oder Messfehler zur Abgabe von Fehlersignalen führen, ist es zweckmäßig,
- 15 die in den Gleichungen (16) und (17) angegebenen Parameter  $a_h$  und  $a_i$  nicht konstant zu wählen, sondern jeweils einen unteren oder oberen Grenzwert festzusetzen, um eine gewisse Bandbreite zu erzeugen, wie sie in Fig. 6 dargestellt sind. In der dort dargestellten linken Kurve ist die Leistung über der Fördermenge und in der rechten Kurve die Förderhö-
  - 20 he über der Fördermenge aufgetragen.

11. Feb. 2004

**Bezugszeichenliste**

- 1 - Elektrisches Motormodell
- 2 - Vereinfachtes Pumpenmodell
- 5 3 - Erweitertes Pumpenmodell
- 3a - Mechanischer Teil des Pumpenmodells
- 3b - Hydraulischer Teil des Pumpenmodells
- 4 - Hydraulischer Teil der Anlage

11. Feb. 2004

**Ansprüche**

1. Verfahren zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpen-  
aggregats, bei dem mindestens zwei die elektrische Leistung des  
Motors bestimmende elektrische Größen des Motors und mindes-  
tens eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe erfasst  
5 werden, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten oder davon  
abgeleiteten Werte selbsttätig mittels elektronischer Datenverar-  
beitung mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei an-  
hand des Ergebnisses ermittelt wird ob ein Fehler vorliegt oder  
10 nicht.
2. Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass einerseits die zwei die elektrische Leistung des  
Motors bestimmenden elektrischen Größen des Motors, vorzugs-  
weise die am Motor anliegende Spannung und der den Motor  
15 speisende Strom, zur Erzielung mindestens eines Vergleichswertes  
mathematisch verknüpft werden und andererseits die mindestens  
eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe sowie mindes-  
tens eine weitere die Leistung der Pumpe bestimmende mechani-  
sche oder hydraulische Größe zur Erzielung mindestens eines Ver-  
20 gleichswertes mathematisch verknüpft werden, wobei anhand der  
Ergebnisse der mathematischen Verknüpfungen durch Vergleich  
mit vorgegebenen Werten ermittelt wird ob ein Fehler vorliegt o-  
der nicht.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch  
25 gekennzeichnet, dass dann, wenn das Vorliegen eines Fehlers er-  
mittelt wird, weiter ermittelt wird, um welchen Fehler es sich han-  
delt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe der von der Pumpe erzeugt Druck ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe die Fördermenge der Pumpe ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erfasste hydraulische Größe der Differenzdruck zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe ist.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die mathematische Verknüpfung ein mathematisches elektrisches Motormodell in Verbindung mit einem mathematischen mechanisch-hydraulischen Pumpen-/Motormodell verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Motormodell durch folgende Gleichungen

$$L'_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R'_s i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rd} + z_p \omega \psi_{rq}) + v_{sd} \quad (1)$$

$$L'_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R'_s i_{sq} + \frac{L_m}{L_r} (R'_r \psi_{rq} - z_p \omega \psi_{rd}) + v_{sq} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -R'_r \psi_{rd} - z_p \omega \psi_{rq} + R'_r L_m i_{sd} \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = -R'_r \psi_{rq} + z_p \omega \psi_{rd} + R'_r L_m i_{sq} \quad (4)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (5)$$

oder

$$V_s = Z_s(s) I_s \quad (6)$$

$$\omega = \omega_s - s \omega_s \quad (7)$$

$$I_r = \frac{V_s}{Z_r(s)} \quad (8)$$

$$T_e = \frac{3R_r I_r^2}{s} \quad (9)$$

oder

$$L_s \frac{di_{sd}}{dt} = -R_s i_{sd} + z_p \omega L_s \psi_{rq} + v_{sd} \quad (10)$$

$$L_s \frac{di_{sq}}{dt} = -R_s i_{sq} - z_p \omega L_s \psi_{rd} + v_{sq} \quad (11)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = -z_p \omega \psi_{rq} \quad (12)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = z_p \omega \psi_{rd} \quad (13)$$

$$T_e = z_p \frac{3}{2} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (14)$$

gebildet wird, in denen

---

$i_{sd}$	den Motorstrom in Richtung d
$i_{sq}$	den Motorstrom in Richtung q
$\psi_{rd}$	den magnetischen Fluss des Rotors in d-Richtung
$\psi_{rq}$	den magnetischen Fluss des Rotors in q-Richtung
$T_e$	das Motormoment
$v_{sd}$	die Versorgungsspannung des Motors in d-Richtung
$v_{sq}$	die Versorgungsspannung des Motors in q-Richtung
$\omega$	die Winkelgeschwindigkeit des Rotors und Laufrades
$R'_s$	den Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$R'_r$	den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung
$L_m$	den induktiven Kopplungswiderstand zwischen Stator- und Rotorwicklung
$L'_s$	den induktiven Ersatzwiderstand der Statorwicklung
$L_r$	den induktiven Widerstand der Rotorwicklung
$z_p$	die Polpaarzahl
$I_s$	den Phasenstrom
$V_s$	die Phasenspannung
$\omega_s$	die Frequenz der Versorgungsspannung
$\omega$	die tatsächlich Rotor- und Laufraddrehzahl
$s$	den Motorschlupf
$Z_s(s)$	die Statorimpedanz
$Z_r(s)$	die Rotorimpedanz

- $R_r$  den Ersatzwiderstand der Rotorwicklung  
 $R_s$  den Ersatzwiderstand der Statorwicklung  
 $L_s$  Den induktiven Widerstand der Statorwicklung,

wobei d und q zwei senkrecht zueinander stehende Richtungen senkrecht zur Motorwelle sind,

ist und dass das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell durch eine Gleichung

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - B\omega - T_p \quad (15)$$

und mindestens eine der Gleichungen

$$H_p = -a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 \quad (16)$$

$$T_p = -a_{t2}Q^2 + a_{t1}Q\omega + a_{t0}\omega^2 \quad (17)$$

gebildet wird, in denen

- $\frac{d\omega}{dt}$  die zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeit des Rotors,  
 $T_p$  das Pumpendrehmoment,  
 $J$  das Massenträgheitsmoment von Rotor, Laufrad und im Laufrad gebundener Förderflüssigkeit,  
 $B$  die Reibungskonstante,  
 $Q$  der Förderstrom der Pumpe,  
 $H_p$  der von der Pumpe erzeugten Differenzdruck,  
 $a_{h2}, a_{h1}, a_{h0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Differenzdruck beschreiben und  
 $a_{t2}, a_{t1}, a_{t0}$  die Parameter, die den Zusammenhang zwischen Drehzahl des Laufrades, Förderstrom und Massenträgheitsmoment beschreiben

5 sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass in den Gleichungen (16) und (17) die Größen  $a_{h0}$ – $a_{h2}$  und  $a_{t0}$ – $a_{t2}$  festgelegt werden, sowie in der Gleichung (15) die Größen  $B$  und  $J$ , dass aus dem elektrischen Motormodell gemäß den Gleichun-

- gen (1) – (5) oder (6) – (9) oder (10) – (14) ein Motormoment ( $T_e$ ) ermittelt wird und die Drehzahl entweder nach den Gleichungen (1) – (5) oder (6) – (9) oder (10) – (14) berechnet oder gemessen wird, wonach mit Hilfe der Gleichungen (16) und/oder (17) eine
- 5 Beziehung zwischen Druck und Fördermenge einerseits und/oder zwischen Leistung/Moment und Fördermenge andererseits ermittelt wird, wonach vorzugsweise mit Gleichung (15) überprüft wird, ob die mit Hilfe des Motormodells berechneten Größen mit denen mit Hilfe des Pumpenmodells nach Einsetzen der gemessenen hydraulischen Größen berechneten Größen übereinstimmen oder
- 10 nicht, wobei bei mangelnder Übereinstimmung ein Fehler registriert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass durch Varianz mindestens einer der Größen  $a_{h0}$ –  $a_{h2}$  und  $a_{t0}$  –  $a_{t2}$  und B
- 15 und J ein Toleranzband festgelegt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen, vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte
- 20 in die Gleichungen nach Anspruch 8 eingesetzt werden, derart, dass sich mehrere Fehlergrößen ( $r_1$  –  $r_4$ ) ergeben, wobei anhand der Kombination der Fehlergrößen die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Art des Fehlers zusätzlich zu den zwei elektrischen Größen zwei hydraulische Größen, vorzugsweise durch Messen ermittelt werden und die ermittelten Werte oder davon abgeleitete Werte mit vorgegebenen Werten verglichen werden, wobei die vorgegebene Werte jeweils eine Flä-
- 25

che definieren, wobei ermittelt wird, ob die ermittelten oder die davon abgeleiteten Größen auf einer dieser Flächen ( $r_1^* - r_4^*$ ) liegen oder nicht, und anhand der Kombination der Fehlergrößen die Art des Fehlers anhand vorgegebener Grenzwertkombinationen ermittelt wird.

5

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Fehlerart anhand der folgenden Tabelle erfolgt

Fehlerart	Fehlergröße	$r_1$ ,	$r_2$ ,	$r_3$ ,	$r_4$ ,
	Vergleichsfläche	$r_1^*$	$r_2^*$	$r_3^*$	$r_4^*$
Erhöhte Reibung aufgrund mechanischer Defekte		1	0	1	1
Reduzierte Förderung/ fehlender Druck		0	1	1	1
Defekt im Ansaugbereich/ fehlende Fördermenge		1	1	0	1
Förderausfall		1	1	1	1

- 10 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Ermittlung eines Fehlers das Pumpenaggregat mit geänderter Drehzahl angesteuert wird, um anhand der sich dann einstellenden Messergebnisse den ermittelten Fehler näher zu spezifizieren.
- 15 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das mechanisch-hydraulische Pumpen-/Motormodell zumindest Teile des von der Pumpe beaufschlagten hydraulischen System mit umfasst, derart, dass auch Fehler des hydraulischen Systems ermittelbar sind.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das hydraulische System durch die Gleichung

$$K_J \frac{dQ}{dt} = H_p - (p_{out} + \rho g z_{out} - p_{in} - \rho g z_{in}) - (K_v + K_l) Q^2 \quad (18)$$

definiert wird, in der

- $K_J$  die Konstante ist, die Mässenträgheit der Flüssigkeitssäule im Rohrsystem beschreibt,
- $K_v$  die Konstante, die die flowabhängigen Druckverluste im Ventil beschreibt und
- $K_L$  die Konstante ist, die die flowabhängigen Druckverluste im Rohrsystem beschreibt,
- $H_p$  den Differenzdruck der Pumpe,
- $p_{out}$  den Druck am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $p_{in}$  den Zulaufdruck,
- $z_{out}$  das statische Druckniveau am verbraucherseitigen Ende der Anlage,
- $z_{in}$  das statische Druckniveau am Pumpeneingang,
- $\rho$  die Dichte des Fördermediums
- $g$  die Gravitationskonstante

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Größen  $r_1 - r_4$  durch die Gleichungen

$$\begin{cases} J \frac{d\hat{\omega}_1}{dt} = -B\hat{\omega}_1 - (-a_{12}Q^2 + a_{11}Q\omega + a_{10}\omega^2) + T_e + k_e(\omega - \hat{\omega}_1) \\ r_1 = q_1(\omega - \hat{\omega}_1) \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} r_2 = q_2(-a_{h2}Q^2 + a_{h1}Q\omega + a_{h0}\omega^2 - H_p) \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} Q' = \frac{a_{h1}\omega + \sqrt{a_{h1}^2\omega^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}\omega^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_3}{dt} = -B\hat{\omega}_3 - (-a_{12}Q'^2 + a_{11}Q'\omega + a_{10}\omega^2) + T_e + k_3(\omega - \hat{\omega}_3) \\ r_3 = q_3(\omega - \hat{\omega}_3) \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} \omega' = \frac{-a_{h1}H_p + \sqrt{a_{h1}^2H_p^2 - 4a_{h2}(H_p + a_{h0}Q^2)}}{2a_{h2}} \\ J \frac{d\hat{\omega}_4}{dt} = -B\hat{\omega}_4 - (-a_{12}Q^2 + a_{11}Q\omega' + a_{10}\omega'^2) + T_e + k_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \\ r_4 = q_4(\omega' - \hat{\omega}_4) \end{cases} \quad (22)$$

definiert sind, in denen

---

$k_1, k_3, k_4$	Konstanten,
$q_1, q_2, q_3, q_4$	Konstanten,
$Q'$	Die berechnete Fördermenge auf Basis von aktueller Drehzahl und gemessenem Druck,
$\hat{\omega}_1$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der mechanisch-hydraulischen Gleichungen (15) und (17),
$\hat{\omega}_3$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\hat{\omega}_4$	die berechnete Rotordrehzahl auf Grundlage der Gleichungen (15), (16) und (17),
$\omega'$	die berechnete Rotordrehzahl aufgrund gemessenen Förderdrucks und gemessener Fördermenge
$r_1 - r_4$	Fehlergrößen und
$r_1^* - r_4^*$	durch drei Variable bestimmte Flächen sind, die einen fehlerfreien Betrieb der Pumpe repräsentieren.

18. Vorrichtung zur Fehlerermittlung bei Betriebszuständen eines Kreiselumpenaggregats, mit Mitteln zur Erfassung von zwei für den Motor leistungsbestimmenden elektrischen Größen und mit Mitteln zur Erfassung mindestens einer veränderlichen hydraulischen Größe der Pumpe und mit einer Auswerteinrichtung, welche einen Fehlerzustand des Pumpenaggregats anhand der erfassten Größen ermittelt.
19. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum Speichern von vorgegebenen Werten vorgesehen sind, wobei die Auswerteinrichtung Mittel zum Vergleich der erfassten Größen mit den vorgegebenen Werten umfasst.
20. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteinrichtung Mittel zur rechnerischen Verknüpfung der erfassten Größen umfasst.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie integraler Bestandteil der Motor- und/oder Pumpenelektronik ist.
22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind, mindestens eine Fehlermeldung zu erzeugen und zu übertragen.

5

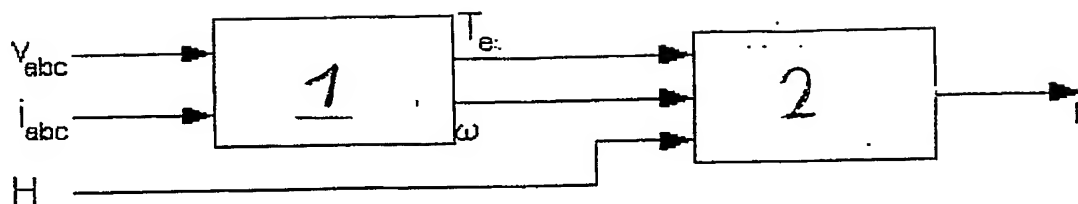
11. Feb. 2004

**Zusammenfassung**

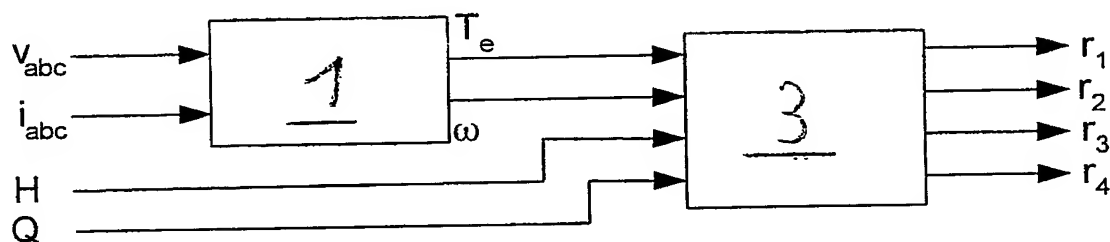
Das Verfahren dient zur Ermittlung von Fehlern beim Betrieb eines Pumpenaggregats. Es werden mindestens zwei die elektrische Leistung des Motors bestimmende elektrische Größen des Motors und mindestens  
5 eine veränderliche hydraulische Größe der Pumpe erfasst. Die erfassten oder davon durch Algorithmen gebildeten Werte werden selbsttätig mittels elektronischer Datenverarbeitung mit vorgegebenen abgespeicherten Werten verglichen, wobei anhand des Ergebnisses ermittelt wird, ob ein Fehler vorliegt oder nicht.

11. Feb. 2004

**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

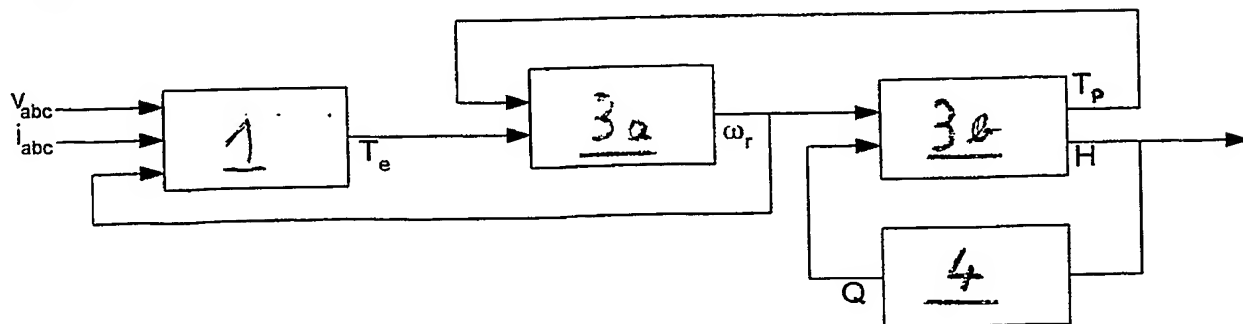


Fig. 4

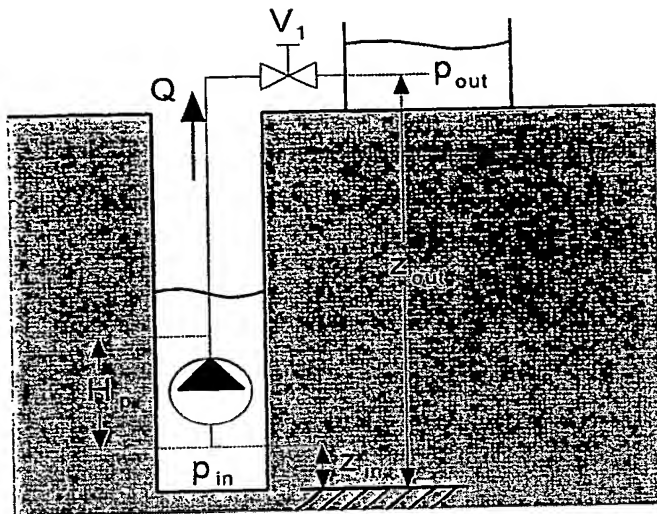


Fig. 5

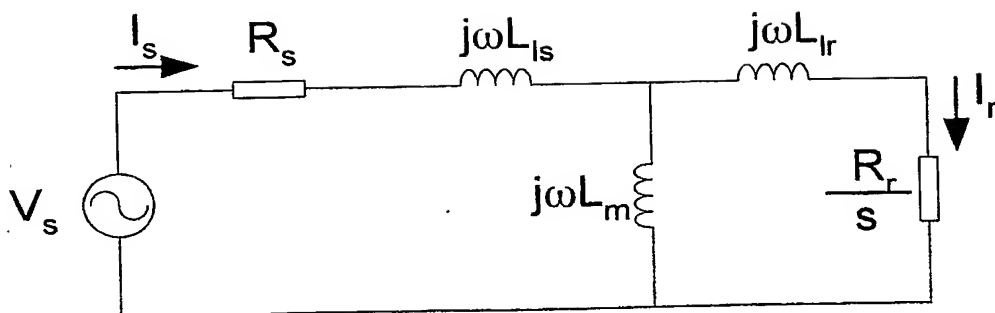


Fig. 6

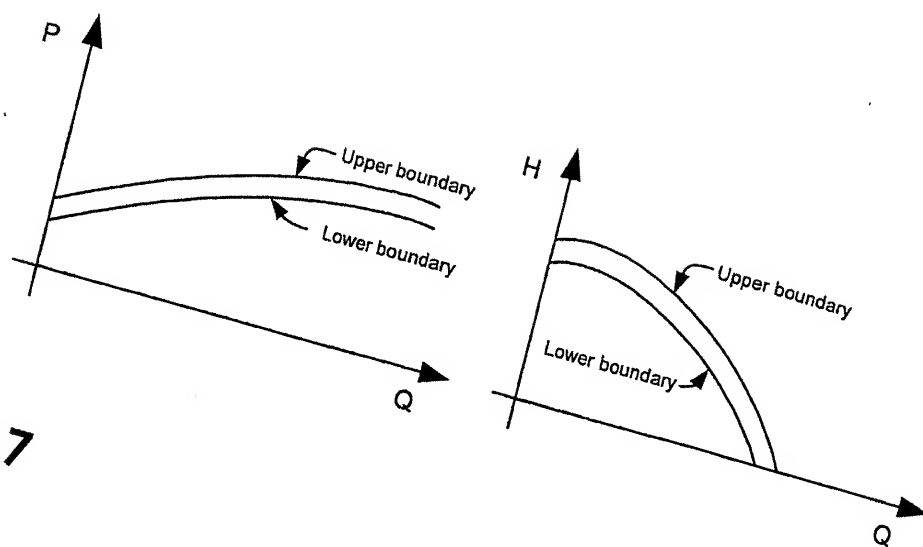


Fig. 7

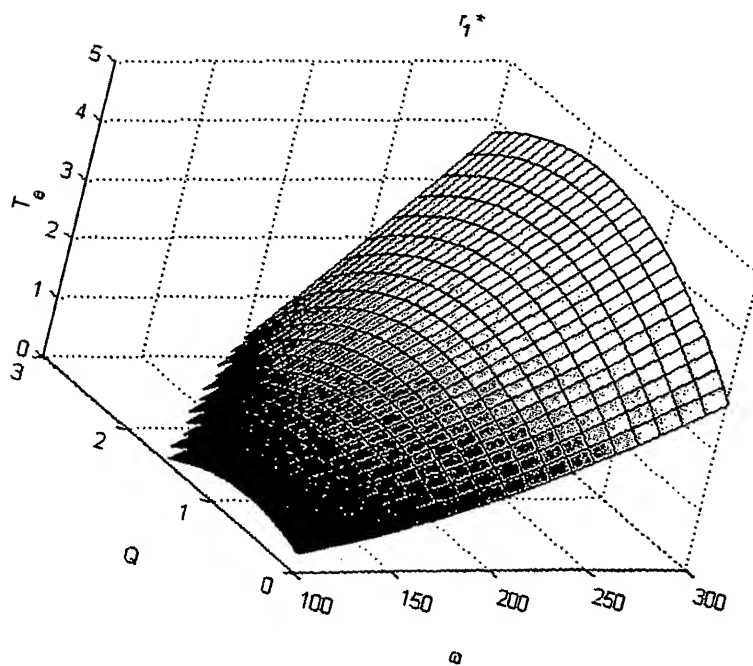


Fig. 8

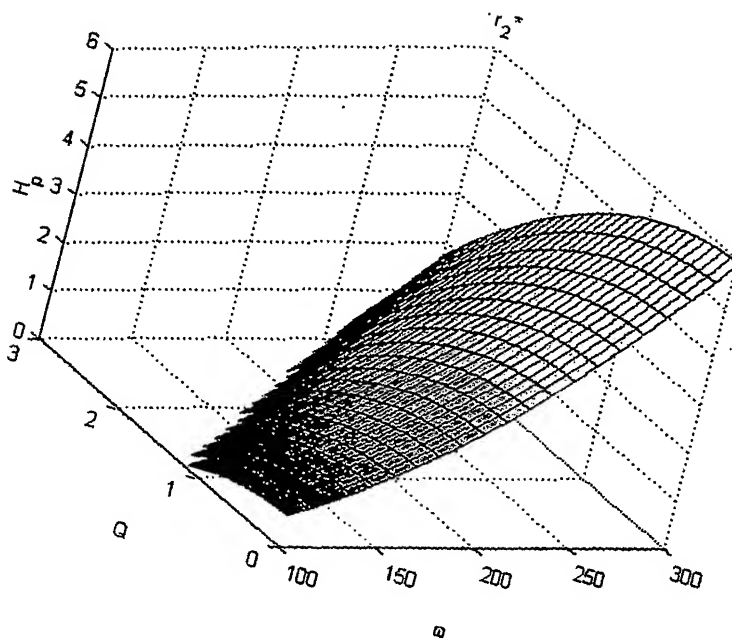


Fig. 9

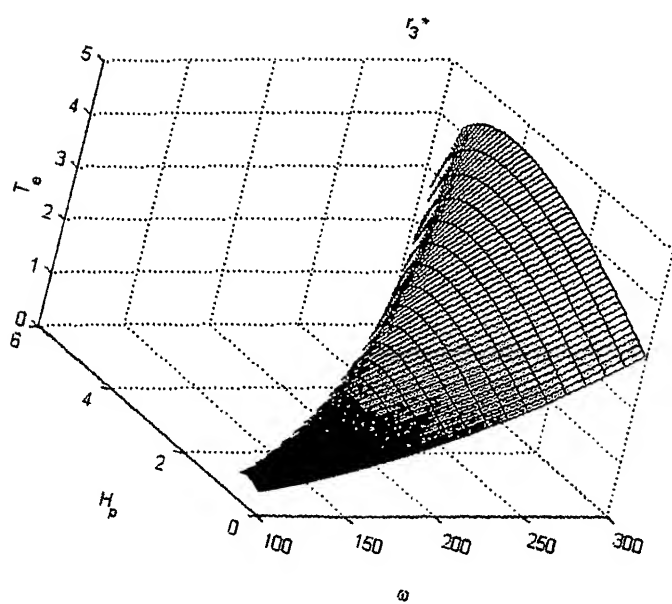
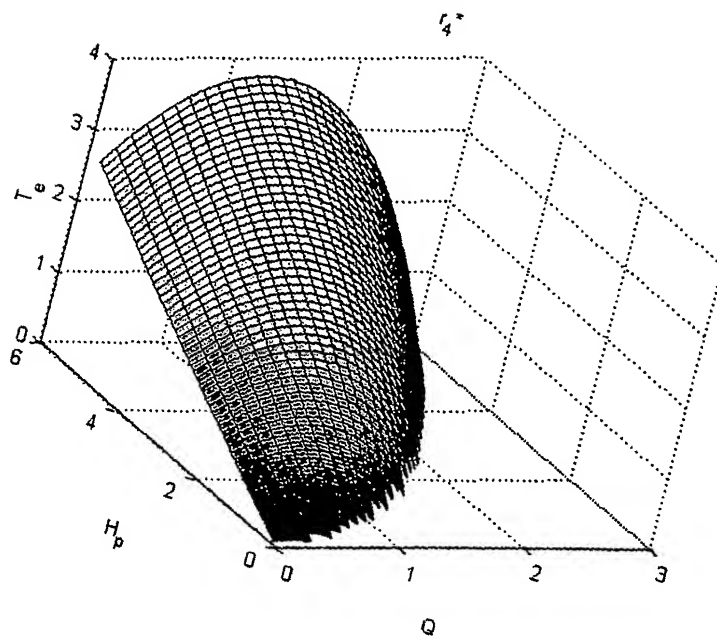


Fig. 10



# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP2005/001193

International filing date: 05 February 2005 (05.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: EP  
Number: 04002979.5  
Filing date: 11 February 2004 (11.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 February 2007 (07.02.2007)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse